

УДК 621.396

DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-6-44-53

МЕТОД ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТРЕНАЖЕРАХ ОПЕРАТОРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА БАЗЕ ЛЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

А.В. БУНИН¹, А.Н. ПОТАПОВ²¹Московский государственный технический университет гражданской авиации, г. Москва, Россия²Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия

Определены проблемы реализации экспериментальных исследований по оценке адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах операторов радиоэлектронных средств управления воздушным движением (РЭС УВД). Сформулированы требования к составу аппаратного обеспечения по проведению летного эксперимента для оценки адекватности тренажных средств лиц группы руководства полетами (ГРП) при УВД в ближней зоне аэродрома. Для вероятностной оценки степени адекватности имитационного моделирования в тренажерах операторов радиоэлектронных средств (РЭС) выбран обобщенный критерий Фишера- χ^2 , который позволяет по критерию Фишера получить уточненное значение уровня значимости, а на основании этого по критерию согласия χ^2 произвести количественную оценку адекватности имитационного моделирования в тренажерах РЭС. В целях повышения качества тренажной подготовки лиц ГРП и приближения процессов, моделируемых в тренажных средствах при УВД в ближней зоне аэродрома к реальным, предложен метод для оценки адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах операторов РЭС УВД на базе летного эксперимента. Показано, что при реализации на базе летного эксперимента предложенного метода оценки адекватности тренажеров операторов РЭС УВД одновременно могут быть получены достоверные значения точностных характеристик наземных и бортовых систем сопровождения воздушных объектов, которые используются в их имитационных моделях в тренажных средствах подготовки операторов УВД. Выполнена экспериментальная оценка адекватности тренажеров операторов управления воздушным движением. Полученные результаты

экспериментальной оценки адекватности тренажеров операторов управления воздушным движением в дальнейшем могут быть использованы для формирования направлений реализации средств конфликтно-устойчивой автоматизированной системы управления тренажерной подготовкой операторов РЭС.

Ключевые слова: имитационное моделирование, радиоэлектронное средство, тренажер, оператор, эксперимент, радиотехническое обеспечение, управление воздушным движением.

ВВЕДЕНИЕ

Для вероятностной оценки степени адекватности имитационного моделирования в тренажерах операторов радиоэлектронных средств (РЭС) в работе [1] выбран критерий согласия χ^2 и определены требования к количеству экспериментальных данных. Причем разработанный обобщенный критерий Фишера- χ^2 [1, 2] позволяет по критерию Фишера получить уточненное значение уровня значимости, а на основании этого по критерию согласия χ^2 произвести количественную оценку адекватности имитационного моделирования в тренажерах РЭС. Также в [3] разработан алгоритм рационального применения обобщенного критерия, с помощью которого по априорной частоте выполнения условия адекватности имитационной модели определяется требуемое количество испытаний, а на основании проведенных испытаний – апостериорная частота выполнения условия годности тренажера и, следовательно, оценка адекватности и ее точность. Если точность не удовлетворяет, то по апостериорной частоте уточняется необходимое количество испытаний и процесс аналогично повторяется.

Для разработки и определения основных составляющих метода оценки адекватности имитационного моделирования в тренажерах операторов радиоэлектронных средств на базе летного эксперимента целесообразно определить проблемы реализации экспериментальных

исследований по оценке адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах операторов РЭС и сформулировать требования к составу аппаратного обеспечения по проведению летного эксперимента для оценки адекватности тренажных средств.

Метод оценки адекватности имитационного моделирования в тренажерах операторов радиоэлектронных средств на базе летного эксперимента рассмотрим на примере тренажных средств операторов управления воздушным движением (УВД) лиц ГРП.

ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ НА БАЗЕ ЛЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ АДЕКВАТНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТРЕНАЖЕРАХ

Для реализации исследований по оцениванию адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах операторов эрготехнических РЭС (в нашем случае операторов УВД – лиц ГРП) необходимо проведение летного эксперимента. В ходе летного эксперимента средствами объективного контроля (СОК) должны регистрироваться параметры, измеряемые на борту ВС и наземными средствами радиотехнического обеспечения (РТО) [4]. Однако в настоящее время проведение летного эксперимента по оцениванию адекватности результатов имитационного моделирования тренажеров затруднено вследствие финансовых и организационно-технических ограничений. Для решения указанной проблемы предлагается использовать статистический материал о полетах воздушных судов (ВС) в ближней зоне аэродрома, имеющийся в 4 Государственном центре подготовки авиационного персонала и войсковых испытаний МО РФ.

Второй не менее важной проблемой реализации исследований по оцениванию адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах ГРП является наличие СОК наземных средств РТО полетов и бортовых измерителей, а также наличие службы единого времени. При выполнении оценивания адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах ГРП по УВД в ближней зоне аэродрома по информационному полю руководителя ближней зоны (РБЗ), которое предусматривает сравнение кадров фотосъемки реального и имитационного полетов ВС, должна быть выполнена жесткая привязка к системе единого времени.

Таким образом, основными проблемами реализации экспериментальных исследований по оценке адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах ГРП по УВД в ближней зоне аэродрома являются следующие.

1. Высокая стоимость проведения летного эксперимента.
2. Наличие СОК наземных средств РТО полетов и бортовых измерителей.
3. Жесткая привязка к системе единого времени.
4. Необходимость в регистрации информации, отображаемой на реальных индикаторных устройствах РБЗ и индикаторных устройствах РБЗ тренажеров ГРП («Марка-РС» и «Репитер») в ходе проведения реального и имитационного полетов ВС.

МЕТОД ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ ТРЕНАЖЕРОВ ОПЕРАТОРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Для проведения летного эксперимента по оценке адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах по УВД в ближней зоне аэродрома целесообразным является определение требований к составу аппаратного обеспечения [5].

На борту ВС должны находиться соответствующие средства объективного контроля для регистрации его параметров движения:

$$(x^p)^T = [t, \varphi, \vartheta, \gamma, \alpha, \beta, \omega_x, \omega_y, \omega_z, n_x, n_y, n_z, V_x, V_y, V_z, H], \quad (1)$$

где t – параметр синхронизации регистрации данных во времени; φ – угол курса; ϑ – угол тангажа; γ – угол крена; α – угол атаки; β – угол скольжения; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловые скорости относительно центра массы в связанной системе координат; n_x, n_y, n_z – перегрузки в связанной системе координат; V_x, V_y, V_z – составляющие скорости в связанной системе координат; H – высота полета.

Бортовые средства объективного контроля должны обеспечивать регистрацию не только параметров движения ВС, но и параметров, измеряемых системами сопровождения наземных и воздушных целей, установленных на ВС. Это обусловлено тем, что в тренажерах операторов РЭС УВД, помимо имитационных моделей ВС, реализованы также имитационные модели систем сопровождения наземных и воздушных целей, устанавливаемых на ВС [6].

Параметры движения ВС, измеряемые наземными средствами радиотехнического обеспечения полетов (дальность, азимут, угол места, курс и т. д.) также в процессе летного эксперимента должны регистрироваться СОК. С целью привязки всех выполняемых измерений к единому времени используется служба единого времени (СЕВ), например, «Секунда-1» [7]. В ходе летного эксперимента информация, отображаемая на реальных индикаторных устройствах РБЗ, регистрируется с помощью фотоаппарата (видеокамеры).

Таким образом, основными требованиями к составу аппаратного обеспечения для выполнения исследований по оценке адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах операторов РЭС по УВД в ближней зоне аэродрома являются следующие [8].

1. Наличие бортовых СОК, позволяющих регистрировать не только параметры движения ВС, но параметры, измеряемые системами сопровождения наземных и воздушных целей, установленных на ВС.

2. Регистрация СОК измерений, выполняемых наземными средствами РТО полетов.

3. Наличие службы единого времени.

4. Регистрация положения ВС на информационном поле РБЗ тренажных средств обучения и штатной техники на основе использования СОК (видеокамеры).

Процедура выполнения исследований по оценке адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах ГРП по УВД в ближней зоне аэродрома на базе летного эксперимента и экспертизы заключается в следующем.

1. Определяются критерии для оценки адекватности тренажеров ГРП.

2. Формируются требования к составу аппаратного обеспечения для выполнения экспериментальных исследований по оценке адекватности тренажеров лиц ГРП.

3. Определяются условия выполнения летного эксперимента.

4. Проводятся исследовательские полеты.

5. Собираются и обрабатываются экспериментальные данные.

6. Производится экспертная оценка адекватности тренажеров лиц ГРП.

7. Выполняется оценка адекватности тренажных средств обучения лиц ГРП по информационному полю и как систем сложной иерархической структуры построения.

На рис. 1 представлена схема метода оценки адекватности тренажеров операторов радиоэлектронных средств УВД (лиц ГРП) на базе летного эксперимента (ЛЭ) и экспертизы [9].

В процессе выполнения экспериментальных исследований по оценке адекватности тренажеров лиц ГРП:

– в системе единого времени бортовыми СОК и СОК наземных средств РТО полетов регистрируются параметры движения и местоположения ВС;

– с помощью видеокамеры (фотоаппарата) регистрируется информация, отображаемая на индикаторных устройствах (ИКО) РБЗ штатной техники;

– выполняется регистрация информации о местоположении ВС (с помощью видеокамеры или фотоаппарата), отображаемой на индикаторных устройствах рабочего места обучаемого РБЗ тренажеров;

– так как при выполнении имитационных полетов на тренажерах лиц ГРП («Марка-РС», «Репитер») в ближней зоне аэродрома функционирует весь комплекс их программных модулей, необходимо регистрировать вектор параметров моделируемого движения ВС и вектор параметров, определяемых с помощью моделируемых наземных средств РТО.

В настоящее же время применяемые методы и средства летных исследований систем сопровождения воздушных объектов не позволяют получать их достоверные точностные характеристики [3]. Вследствие этого точностные характеристики как наземных, так и бортовых систем сопровождения воздушных целей во многом не отвечают действительности. Для определения достоверных точностных характеристик наземных и бортовых радиотехнических систем сопровождения воздушных целей, и на основе этого приближения точностных характеристик их имитационных моделей, реализованных в тренажерах лиц ГРП, к реальным, а также совершенствования непосредственно тренажных средств обучения лиц ГРП (повышения их адекватности по отношению к штатной технике) при выполнении исследований по оценке адекватности тренажеров ГРП на базе летного эксперимента может быть реализован предложенный в [10] способ экспериментального определения точностных характеристик систем сопровождения воздушных целей.

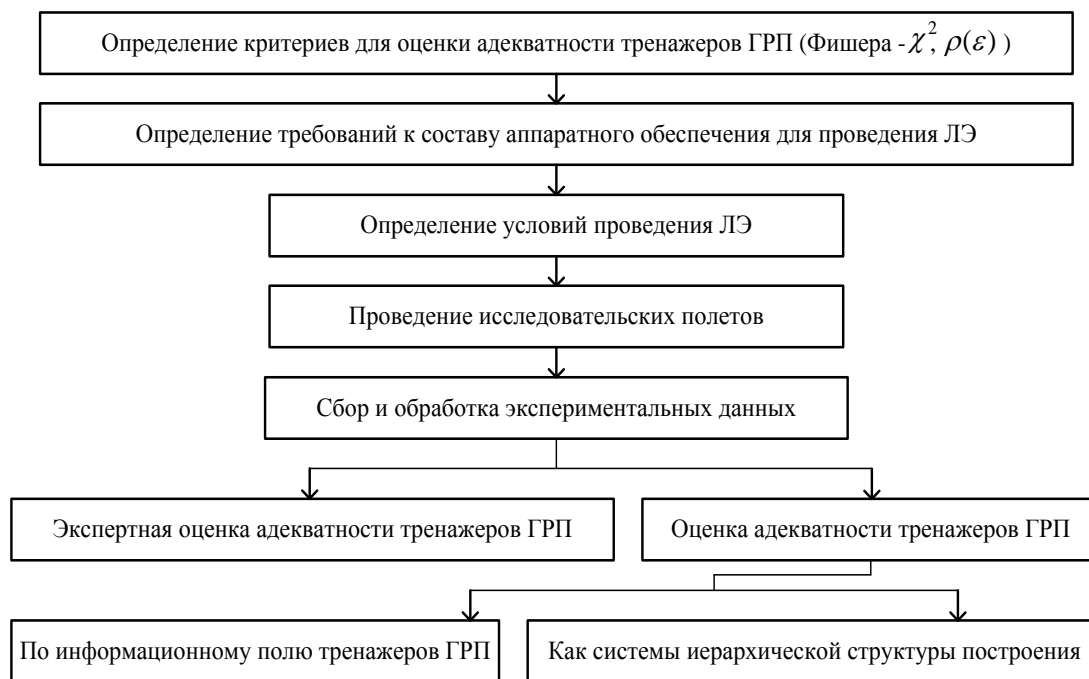


Рис. 1. Метод оценки адекватности тренажеров операторов радиоэлектронных средств на базе летного эксперимента

Fig. 1. A method of assessing the adequacy of simulating equipment operators of radio electronic means on the basis of a flight experiment

Таким образом, при реализации на базе летного эксперимента предложенного метода оценки адекватности тренажеров операторов эрготехнических средств УВД, одновременно могут быть получены достоверные значения точностных характеристик наземных и бортовых систем сопровождения воздушных объектов, которые используются в их имитационных моделях в тренажных средствах обучения операторов УВД. Это позволит не только определять в вероятност-

но-метрической форме адекватность тренажеров лиц ГРП, но и, используя в тренажных средствах обучения лиц ГРП полученные реальные (достоверные) точностные характеристики наземных и бортовых систем сопровождения целей, повысить их адекватность по отношению к штатной технике.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ТРЕНАЖЕРОВ ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПО КРИТЕРИЮ ФИШЕРА- χ^2

Экспериментальные исследования по оценке адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах ГРП выполнялись на основе обработки статистических данных о реальных полетах ВС, полученных в 4 Государственном центре подготовки авиационного персонала и войсковых испытаний МО РФ при проведении летных исследований с использованием бортовых СОК, СОК наземных средств радиотехнического обеспечения полетов и СОК информационного поля РБЗ. Исследования адекватности тренажных средств лиц ГРП были выполнены в два этапа.

На первом этапе оценка адекватности тренажеров лиц ГРП выполнялась на основе обобщенного закона распределения, на втором этапе – по критерию Фишера- χ^2 [1]. Условия выполнения исследований по оценке адекватности тренажеров лиц ГРП на основе критерия Фишера- χ^2 полностью соответствовали первому этапу исследований.

Целью первого этапа исследований являлось определение не только в вероятностно-метрической форме адекватности тренажных средств ГРП, но и закона распределения экспериментальных данных. В процессе выполнения исследований по оценке адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах лиц ГРП по информационному полю РБЗ и как систем сложной иерархической структуры построения на основе применения обобщенного закона распределения было установлено, что распределение экспериментальных данных близко к нормальному закону распределения.

В процессе исследований были обработаны статистические данные 70 полетов ВС. Причем скорость ВС для каждого полета соответствовала 500 км/ч. Для каждого из 70 полетов ВС исследования выполнялись на высоте 2700 м. ВС совершали равномерный прямолинейный полет. Статистические экспериментальные данные о полетах ВС обрабатывались для ближней зоны аэродрома при удалении ВС от взлетно-посадочной полосы на расстояние от 40 до 75 км. Таким образом, в процессе обработки статистических экспериментальных данных о реальных полетах ВС в ближней зоне аэродрома при рассмотрении тренажных средств лиц ГРП как систем сложной иерархической структуры построения были получены значения оценок адекватности результатов имитационного моделирования ВС (для тренажеров «Марка-РС» и «Репитер») как структурного элемента тренажных средств обучения. Идентификация реальных процессов и их математических моделей велась по степени совпадения переходных процессов параметров движения имитационных моделей ВС тренажеров лиц ГРП («Марка-РС» и «Репитер») и реального ВС при заданных одних и тех же ступенчатых управлений. Погрешность в воспроизведении параметров движения ВС соответственно на основе обобщенного закона распределения и критерия Фишера- χ^2 для тренажера «Репитер» составляет 12,5 и 13 %, а для тренажера «Марка-РС» – 17 и 18 %.

Исследования адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах лиц по информационному полю РБЗ на основе обобщенного закона распределения и по критерию Фишера- χ^2 выполнены путем наложения видеок кадров, характеризующих положение ВС реального и имитационного полетов на ИКО соответственно штатной техники и тренажных средств «Марка-РС» и «Репитер». Причем для изображения на ИКО положения имитируемого ВС в

тренажере «Марка-РС» применялся коэффициент масштабирования $K_M = 1,63$ [11]. Коэффициент масштабирования для видеок кадров, характеризующих положение ВС на ИКО «Репитер» составлял $K_M = 1$. Это обусловлено структурой построения тренажных средств обучения лиц ГРП «Марка-РС» и «Репитер» [11]. Результаты исследований адекватности тренажеров лиц ГРП по информационному полю РБЗ и как систем сложной иерархической структуры построения на основе применения обобщенного закона распределения и по критерию Фишера- χ^2 представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1
Table 1

Адекватность тренажеров ГРП на основе обобщенного закона распределения
The adequacy of simulators of hydraulic fracturing on the basis of the generalized distribution law

Критерий оценки	Метод	
	Оценка по информационному полю	Оценка как системы иерархической структуры
Обобщенный закон распределения	«Марка-РС» $\gamma = 0,78$	«Марка-РС» $\gamma_{\text{ст}}^{\text{BC}} = 0,83$
	«Репитер» $\gamma = 0,86$	«Репитер» $\gamma_{\text{кт}}^{\text{BC}} = 0,875$

Таблица 2
Table 2

Адекватность тренажеров ГРП на основе критерия Фишера- χ^2
The adequacy of simulators of hydraulic fracturing on the basis of the Fisher- χ^2

Критерий оценки	Метод	
	Оценка по информационному полю	Оценка как системы иерархической структуры
Критерий Фишера- χ^2	«Марка-РС» $\gamma = 0,77$	«Марка-РС» $\gamma_{\text{ст}}^{\text{BC}} = 0,82$
	«Репитер» $\gamma = 0,85$	«Репитер» $\gamma_{\text{кт}}^{\text{BC}} = 0,87$

Различия в полученных значениях адекватности тренажных средств обучения лиц ГРП на основе применения обобщенного закона распределения и критерия Фишера- χ^2 как по информационному полю РБЗ, так и как систем сложной иерархической структуры построения имеют малый порядок – 10^{-2} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- определены проблемы реализации экспериментальных исследований по оценке адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах операторов РЭС УВД;
- сформулированы требования к составу аппаратного обеспечения по проведению летного эксперимента для оценки адекватности тренажных средств лиц ГРП при УВД в ближней зоне аэродрома;
- в целях повышения качества тренажной подготовки лиц ГРП и приближения процессов, моделируемых в тренажных средствах при УВД в ближней зоне аэродрома, к реальным, предложен метод для оценки адекватности результатов имитационного моделирования в тренажерах операторов РЭС УВД на базе летного эксперимента;
- выполненная экспериментальная оценка адекватности тренажеров операторов УВД позволяет сделать вывод о том, что результаты исследований, полученные на основе критерия

Фишера- χ^2 и на основе обобщенного закона распределения, могут быть использованы для формирования направлений реализации средств конфликтно-устойчивой автоматизированной системы управления тренажерной подготовкой операторов РЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Потапов А.Н., Пасмурнов С.М.** Математическая модель количественного критерия оценки адекватности имитационного моделирования в тренажерах операторов эрготехнических систем // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Том. 8, № 3. С. 4–8.
2. **Потапов А.Н.** Оптимизация тренажерной подготовки операторов сложных информационных радиоэлектронных систем управления воздушным движением: материалы 11 Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии»: т. 2. Воронеж: ВГУ, 2011. С. 216–222.
3. **Потапов А.Н., Моисеев С.Н.** Математическая модель процесса исследований точностных характеристик радиолокационных систем сопровождения воздушных целей // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Том. 16, № 23. С. 235–241.
4. **Kleinman D.L.** On an Iterative Technique for Riccati Equation Computation. IEEE Trans. On Automatic Control, 2008, Vol. 13, no. 1. pp. 20–25.
5. **Lambert M.** Training the Ariline Pilot. M. Lambert, R. Lopez. Interavia, 1982, no. 12, pp. 127.
6. **Grewall M., Weill L.R., Andrews A.P.** Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration. Third Edition. N.Y., John Wiley & Sons, 2003, 608 p.
7. **Потапов А.Н., Овчаров В.В.** Оценка адекватности имитационного моделирования в информационных автоматизированных системах освоения эрготехнических комплексов, имеющих иерархическую структуру построения // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Том 9, № 3-1. С. 45–48.
8. **Потапов А.Н., Бунин А.В.** Системная модель формирования конфликтно-устойчивых операций управления эрготехническими радиоэлектронными средствами // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». 2016. Т. 9, № 8. С. 1207–1216.
9. **Потапов А.Н.** Оценка адекватности имитационного моделирования в тренажерах операторов информационных эрготехнических систем, имеющих иерархическую структуру построения: материалы 13 Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии». 7–8 февраля 2013. Том 3. Воронеж: ВГУ, 2013. 480 с.
10. **Powell David E.** Modular Aircrew Simulation Systems. David E. Powell, James W. Dille. AIAA Flidht Simul. Tech. Conf and Exhib, 1989, pp. 237–242.
11. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2013610592 РФ. Система оперативного объективного контроля действий операторов информационных комплексов управления воздушным движением / А.Н. Потапов, Е.С. Сысоев (RU). Заяв. 2012619942, 19.11.2012; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ Роспатента 09.01.2013. 1 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бунин Александр Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, a.bunin@mstuca.aero.

Потапов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры эксплуатации радиотехнических средств (обеспечения полетов) ВУНЦ ВВС «ВВА», potapov_il@mail.ru.

METHOD OF THE ADEQUACY ASSESSING OF SIMULATION
IN RADIO ELECTRONIC MEANS OPERATORS TRAINING FACILITY
ON THE BASIS OF THE FLIGHT EXPERIMENT

Alexander V. Bunin¹, Andrew N. Potapov²

¹Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

²Military Educational Scientific Center Air Force "Air Force Academy
named Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin", Voronezh, Russia

ABSTRACT

The research determines the problems of pilot studies to assess the adequacy of the results of simulation in simulators operators of radio electronic equipment for air traffic control. Hardware requirements to conduct flight experiments to assess the adequacy of training facilities by members of the flight management group for air traffic control in the near field zone are formulated. For the probabilistic assessment of simulation adequacy in training facility radio electronic means (REM) operators the generalized criterion "Fisher - Chi-square" is selected, which allows to obtain the updated value of the significance level using the Fisher criterion, and based on this, using the goodness of fit Chi-square to produce a quantitative assessment of the adequacy of the simulation in the training facility radio electronic equipment. In order to improve the quality of training of the trainees (members of the flight management group) and a greater degree of approximation of processes that are modeled in training facilities at the ATC in the near field zone to the real conditions, the research proposes a method to evaluate the adequacy of the simulation results in training equipment operators REM ATC on the basis of the flight experiment. It is shown that when implemented on the basis of the flight experiment of the proposed method of assessing the adequacy of the equipment operators REM ATC, the reliable values of accuracy can be obtained simultaneously for ground and in-flight tracking of air objects that are used in their simulation models in training facilities for the traffic controllers training procedures. Experimental assessment of the air traffic control equipment operators adequacy allows the authors to come to the conclusion that the results obtained on the basis of the Fisher- χ^2 and on the basis of the generalized distribution law can be used to form areas of implementation of means of conflict-resistant automated control system for RES operators training management.

Key words: simulation, radio electronic means, training facility, operator, experiment, radio electronic security, air traffic control.

REFERENCES

1. Potapov A.N., Pasmurnov S.M. *Matematicheskaya model' kolichestvennogo kriteriya otsenki adekvatnosti imitatsionnogo modelirovaniya v trenajorah operatorov ergotekhnicheskikh sistem* [Mathematical model of quantitative criterion of the estimation of adequacy of the simulation modeling in training apparatus of operators of energotekhnicheskyy systems]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Technical University], 2012, Vol. 8, № 3, pp. 4–8. (in Russian)
2. Potapov A.N. *Optimizatsiya trenajornoy podgotovki operatorov slozhnykh informatsionnykh radioelektronnykh sistem upravleniya vozdushnim dvizheniem* [Optimization of simulator training operators of complex information radio electronic systems of air traffic control]. *Materialy 11 mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii "Informatika: problemy, metodologiya tekhnologii"* [Proceedings of the 11th International scientific and methodological conference «Informatics: problems, methodology, technology»], Vol. 2. Voronezh, VSU, 2011, pp. 216–222. (in Russian)
3. Potapov A.N., Moiseev S.N. *Matematicheskaya model' processa issledovaniy tochnostnykh harakteristik radiolokatsionnykh sistem soprovozhdeniya vozdushnykh tseley* [Mathematical model of the research process of accurate characteristics of aerial targets support's radiolocation systems]. *Vestnik Kazanskogo tekhnicheskogo univresiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2013, Vol. 16, № 23, pp. 235–241. (in Russian)
4. Kleinman D.L. On an Iterative Technique for Riccati Equation Computation // *IEEE Trans. On Automatic Control*, 2008, Vol. 13, № 1, pp. 20–25.

5. **Lambert M.** Training the Ariline Pilot. M. Lambert, R. Lopez. Interavia, 1982, № 12, p. 127.
6. **Grewall M., Weill L.R., Andrews A.P.** Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration. N.Y., John Wiley & Sons, Third Edition, 2013, 608 p.
7. **Potapov A.N., Ovcharov V.V.** *Otsenka adekvatnosti imitatsionnogo modelirovaniya v informatsionnykh avtomatizirovannykh sistemakh osvoeniya ergotekhnicheskikh kompleksov, imeyushih ierarhicheskuyu strukturu postroyeniya* [Assessment of the adequacy of the simulation in simulators ergo-technical operators with hierarchical structure of building]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Technical University], 2013, Vol. 9, №. 3-1, pp. 45–48. (in Russian)
8. **Potapov A.N., Bunin A.V.** *Sistemnaya model' formirovaniya konfliktno-ustoychivih operatsiy upravleniya ergotekhnicheskimi radiolokatsionnymi sredstvami* [Systemic Model of Formation Conflict-Sustainable Management Operations Ergotechnical Radio-Electronic Means]. *Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Seriya "Tekhnika i tekhnologii"* [Journal of Siberian Federal University. Series "engineering and technologies"], 2016, Vol. 9, No. 8, pp. 1207–1216. (in Russian)
9. **Potapov A.N.** *Otsenka adekvatnosti imitacionnogo modelirovaniya v trenazhorah operatorov informatsionnykh ergotekhnicheskikh sistem, imeyushih ierarhicheskuyu strukturu postroyeniya* [Assessing the adequacy of simulation modeling in training equipment operators of ergo technical information systems with hierarchical structure]. Proceedings of the 13th International scientific and methodological conference "Informatics: problems, methodology, technologies". February 7-8th, 2013, Vol. 3, Voronezh, VSU, 2013, 480 p. (in Russian)
10. **Powell David E.** Modular Aircrew Simulation Systems. David E. Powell, James W. Dille. AIAA Flidht Simul. Tech. Conf and Exhib, 1989, pp. 237–242.
11. The certificate of the official registration of a computer program 2013610592 of the Russian Federation. The system of operative objective control of operators' actions of air traffic control information systems. / A.N. Potapov, E.S. Sysoev (RU). Application 2012619942, 19.11.2012; reg. in the registry of computer programs of Rospatent 09.01.2013. 1 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Bunin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Air Traffic Radio Electronic Equipment Maintenance Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation a.bunin@mstuca.aero.

Andrew N. Potapov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of Operation of Radio Equipment (mission operations to ensure safety) Chair VUNTS VVS "VVA" (Voronezh), potapov_il@mail.ru.

Поступила в редакцию 31.08.2017
Принята в печать 23.11.2017

Received 31.08.2017
Accepted for publication 23.11.2017